

DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2017.S1.024

# 基于某燃机电厂的岩溶土洞不同处理方案对比研究

胡传鹏, 阳艳

(中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司, 广州 510663)

**摘要:** 文章旨在探讨岩溶土洞地区的电厂工程不同地基处理方案的优劣性。以国内某燃机电厂的地基处理过程为例, 从施工难易程度、经济性及处理效果等三个方面对本工程中使用的两种地基处理方案进行比较, 并总结了两种方案各自的优缺点。相关比较结果表明, 只有根据具体地质特点及特定结构的功能特性和安全等级, 结合使用两种地基处理方案, 才能在安全性和经济性上达到平衡, 取得最佳的地基处理效果。

**关键词:** 岩溶土洞; 注浆; 地基处理; 地质勘察

中图分类号: TU753

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2017)S1-0125-04

## Research on Different Treatments of Karstic Earth Cave Based on a Gas Turbine Power Plant

HU Chuanpeng, YANG Yan

(China Energy Engineering Group Guangdong Electric Power Design Institute Co., Ltd., Guangzhou 510663, China)

**Abstract:** The advantages and disadvantages of different ground treatment schemes of power plant engineering in karst region have been investigated in this paper. Based on the foundation treatment process of a domestic gas turbine power plant, this paper compared the two soil-treatment methods from three aspects, such as the ease of construction, economy and treatment effects, and summarized the merits and demerits of the two methods. The comparison results show that only depending on the geological characteristics and specific structure features and security levels, using two kinds of ground treatment schemes in combination, we can achieve a balance between safety and economy, and achieve the best effect of the foundation treatment.

**Key words:** karstic earth cave; grouting; foundation treatment; geological survey

在喀斯特地区修建的工程项目最常遇到的不良地质情况就是岩溶土洞, 该区域内由于可溶性岩层分布较广泛, 当具备足够流量的下渗地表水和流动地下水时, 这些可溶性岩层在长期的溶蚀和冲刷作用下就会产生大小不一的溶洞和土洞。这些埋深在持力层范围内的溶洞土洞如果不进行适当的处理, 将会对工程产生极大的危害。溶洞、土洞的处理目的是使空洞能够被填充密实, 同时保证填充物能够固结并具有一定的强度, 切断溶洞、土洞与地下水的联系, 使其不再发展发育, 从而避免地表下沉开裂

甚至塌陷, 确保地面工程的安全<sup>[1]</sup>。

### 1 工程地质条件概况

某燃气电厂场址位于绥江冲积平原的一级阶地上, 厂区微地貌属剥蚀堆积地貌。根据现场调查, 原场地大部分为荒地, 植被发育, 多生长杂草, 地面见积水, 水深几十厘米。本次地质勘察采用多种方法相结合的综合手段, 包括了工程钻探、工程物探及原位测试等。工程物探主要采用弹性波 CT, 原位测试主要为标准贯入试验。根据地质勘察资料揭露, 场地覆盖层主要有素填土、冲积粘性土、砂土、淤积淤泥质土及冲洪积粘性土等, 下伏基岩为石炭系下统测水组灰岩。主厂区钻孔遇岩溶率高达 91.7%, 岩溶发育程度为极强烈发育, 且厂

收稿日期: 2017-10-10

作者简介: 胡传鹏(1987), 男, 湖北咸宁人, 工程师, 硕士, 主要从事电厂结构设计的工作(e-mail) huchuanpeng@gedi.com.cn。

址区石笋、石芽、溶蚀漏斗或凹槽等溶蚀现象发育。根据总平面规划布置方案,本工程的主厂房、锅炉间布置在土洞、溶洞发育的区域,基础采用冲孔灌注桩基础,桩基施工势必影响土洞和溶洞的稳定。同时,主厂房、锅炉间是电厂最重要的建构筑物,上部结构传至基础的荷载巨大,其下部存在大型的土洞和溶洞也会直接威胁到工程的安全性,因此桩基施工前必须先对土洞和溶洞进行处理。

## 2 岩溶土洞常见的防治措施

在岩溶土洞地区进行建(构)筑物布置时,应先将岩溶土洞的位置勘察清楚。条件允许时,应首先设法避开有威胁的岩溶和土洞区,当无法避开时,可考虑采用以下方案进行处理<sup>[2]</sup>。

当岩溶土洞埋深较大时,可用桩基处理,如采用混凝土桩、木桩、砂桩或爆破桩等。其目的除可以提高支承能力外,还有靠桩来挤压挤紧土层和改变地下水渗流件的功效;当洞中水可使洞壁和洞顶溶蚀、冲刷或潜蚀造成裂隙和洞体扩大时,可采用排导法处理,将水引至他处排泄<sup>[3-4]</sup>;当溶洞或土洞埋藏较深不可能采用挖填和跨盖方法处理时,可采用灌注法处理,将水泥或水泥粘土混合物注于岩溶土洞裂隙中灌满灌实<sup>[5]</sup>;当洞埋藏较深或洞顶板不稳定时,可采用跨盖法处理<sup>[6-7]</sup>,采用长梁式基础或桁架式基础或刚性大平板等方案跨越;当岩溶土洞埋深较浅时,可采用挖填法处理,挖除溶洞或土洞中的软弱充填物,以碎石、块石或混凝土等回填,并分层夯实,以达到改良地基的效果。

## 3 本工程采用的地基处理方案

本工程主厂房及锅炉区域以及厂前区主要采用的是冲孔灌注桩基础,根据业主要求全厂分为多个标段,分别由不同的施工单位施工。由于技术设备以及施工经验上的差异,各家施工单位分别采用了不同的方法来处理土洞和溶洞问题。文章主要讨论其中两种施工单位普遍认同的效率较高、效果较好的方案,通过施工难易程度、经济效益以及桩基检测结果等方面的比较来评价两种方案各自的优缺点。

### 3.1 方案一(主要应用于主厂房及锅炉区域)

根据地质钻孔资料,主厂房及锅炉区域(如图1所示)的溶洞裂隙发育程度复杂、连通性好且延

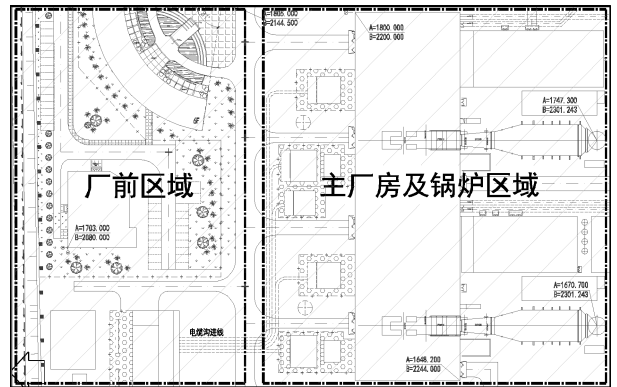


图1 厂区平面布置图

Fig. 1 The floor plan of power plant

伸距离远,如直接灌注混凝土充填,所需的混凝土体量将无法估计<sup>[8]</sup>。而且部分钻孔显示溶洞中的水可能处于流动状态,所注入的浆体很可能会随着活动的地下水流失,这进一步加大了直接注浆法的不确定性<sup>[9]</sup>。基于这些因素,施工单位决定在该区域采用边灌注边封堵边调整的方案。具体过程如下:

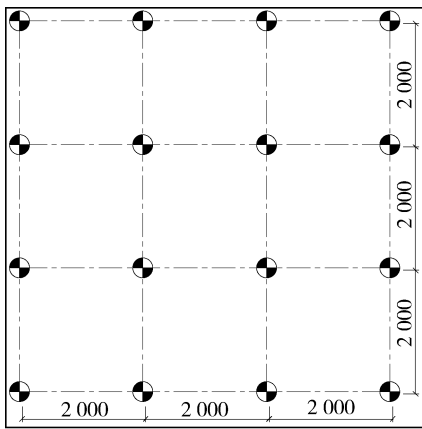
- 1) 根据超前钻资料明确溶洞孔深,冲击进尺到溶洞顶标高处时提前做好堵漏措施。
- 2) 留意孔口液面动态,发现冒泡、漏浆等异常情况,应立即采取措施。
- 3) 通过注浆量和漏浆量的对比分析调整灌注的时间间隔和速度。
- 4) 及时调整混凝土的塌落度。
- 5) 在溶洞位置处的钢筋笼上包铁丝网,尽量减缓浆液的渗漏速度<sup>[10]</sup>。

在施工过程中可能还会遇到桩孔漏浆或者孔壁坍塌等常见状况,应准备好相应的应对措施以保证成孔质量。

### 3.2 方案二(主要应用于厂前区)

厂前区的地质钻孔资料显示,该区域的岩溶土洞发育程度较轻,洞室之间孤立隔绝连通性差。考虑到现场工期紧张且自身的技术条件限制等因素,施工单位决定采用先注浆填洞后冲孔成桩的处理方案。处理原则为根据现有的钻孔柱状图,先对显示有溶洞的区域或对有溶洞的柱号进行高压注浆处理,然后对半充填溶洞或软弱地基采用袖阀管注浆进行加固处理。具体处理办法如下:

- 1) 以超前钻桩中心为基点,依次向外布置 $2\text{ m} \times 2\text{ m}$ 的钻孔(如图2所示),成孔直径 $150\text{ mm}$ ,此孔既可作为补充钻探孔,又可作为以后溶



注: 单位为 mm。

图 2 探孔平面布置图

Fig. 2 Survey plan

洞处理灌填砂浆的注浆孔, 依此向外递推  $2\text{ m} \times 2\text{ m}$ , 若探明钻孔仍漏浆或揭露有溶洞发育, 则再向外递推  $2\text{ m} \times 2\text{ m}$ , 直到确认该钻孔揭露不漏浆为止。注浆孔要求进入最下一层溶洞底板不少于  $3.0\text{ m}$ , 凡探孔施工过程中发现掉钻或钻孔漏浆即可揭露该探孔有溶洞发育。

2) 根据补充勘察查明的溶洞大小进行逐孔灌注 M7.5 水泥砂浆, 将溶洞充填灌满为止。

3) M7.5 水泥砂浆配合比设计为: 水灰比  $0.8:1 \sim 1:1$ 。

4) 遇到多层溶洞采用袖阀管注浆, 出浆孔设置在溶洞顶板以上  $0.3\text{ m}$  至最下一层溶洞底板以下  $1.0\text{ m}$  之间, 单层溶洞采用钢阀管注浆时, 其出浆孔口应下至溶洞底板  $0.5\text{ m}$  处。

5) 对于大体积溶洞、土洞, 压密注浆前先填充 M7.5 水泥砂浆, 施工前应根据灌注要求对水泥砂浆的稠度进行试验, 以便于灌注且不会扩散过大为宜, 充填满后, 在相同部位再钻孔并采用水泥浆压密注浆。

6) 溶洞处理时应遵循先外围后内部、先下部后上部、隔一跳一的施工顺序。

## 4 方案比较

以上两个方案虽然在实施过程中都各自遇到了一些问题, 但总体来说在本工程的应用中都取得了比较理想的效果。为了更好地指导以后的工作, 下面从施工难易、经济效益及检测结果等三个方面来分析比较这两个方案各自的优缺点。

### 4.1 施工难易程度比较

两个方案都要求对地质情况有比较清晰的了解, 但各自要求了解的深度还是有一定的差异。方案一要求在柱位处进行超前钻, 以了解柱位下方垂直深度上的岩溶土洞分布情况, 而无需额外的钻孔来确定岩溶土洞在横向的扩展范围; 方案二则要求对岩溶土洞在竖向和水平向的空间位置都要有比较准确的定位, 因此需要布置一个合理的探孔网来确定岩溶土洞边界线。此外, 由于溶洞土洞顶部被钻穿或震塌而导致漏浆的情况随时可能发生, 方案一需要有专人观察孔口液面动态, 并根据现场情况及时调整灌注的时间间隔、速度以及混凝土的坍落度, 整个过程需要有丰富的施工经验和实力才能够完全掌握现场的情况, 否则成桩质量将很难控制; 方案二操作起来则相对比较简单, 只要前期注浆填充效果好, 后期的冲孔灌注桩施工就相对容易得多, 成桩质量也比较容易保证。

### 4.2 经济性比较

如表 1 所示, 因为需要比较详细地了解岩溶土洞的发育情况, 方案二的超前钻孔的数量远大于方案一, 此外, 完全填充洞室也使方案二需要的注浆量远多于方案一, 从材料成本和施工成本来看, 方案二所需的成本要高于方案一。

表 1 两个方案的经济性对比

Tab. 1 Economy comparison of two schemes

编号	注浆量/ $\text{m}^3$	钻孔数/个
方案一	27	3
方案二	180	21

注: 表中的数据是根据两种方案处理近似体积埋深的溶洞的统计结果。

### 4.3 基桩检测结果比较

#### 1) 静力载荷试验检测结果

如表 2 所示, 采用两种方案处理后的桩基承载力都能满足设计要求。

表 2 两个方案的静力载荷试验检测结果对比

Tab. 2 The results of static load test of two schemes

编号	检测数/根	合格数/根	合格率/%
方案一	15	15	100
方案二	6	6	100

#### 2) 低应变检测结果

为确认冲孔灌注桩的成桩完整性, 现场采用低

应变检测的方法进行检测,检测结果如表3所示。采用方案一处理的区域共抽检了92根桩,其中Ⅰ类桩90根,Ⅱ类桩2根,桩基完整性满足规范设计要求;采用方案二处理的区域共抽检了32根,皆为Ⅰ类桩,成桩完整性略好于方案一区域。

表3 两个方案的低应变检测结果对比

Tab. 3 The results of low strain test of two schemes 根

编号	检测数	Ⅰ类	Ⅱ类
方案一	92	90	2
方案二	32	32	0

### 3) 抽芯检测结果

两个方案处理的区域各随机抽取了4根桩进行抽芯检测,如表4所示。检测结果的合格率均为100%,满足规范设计的要求。

表4 两个方案的抽芯检测结果对比

Tab. 4 The results of core pulling test of two schemes

编号	检测数/根	合格数/根	合格率/%
方案一	4	4	100
方案二	4	4	100

## 5 结论

根据前面两种方案在施工难易程度、经济性以及处理效果等方面的比较可知:方案一对施工单位经验和技术的要求较高,施工单位需承担较大的风险,而所需的材料成本和施工成本较方案二要低得多;方案二需要更多的探孔来详细了解工程地质情况,材料成本和施工成本较高,但操作起来相对简单,成桩质量保障性远高于方案一。

选址在岩溶土洞地区建构物一般需要在地质勘察的时候就特别注意钻孔的布置方案,地质条件复杂多变,合理的钻孔布置能够详细的揭露岩溶土洞的发育情况,为后期的地基处理方案提供坚实的依据,使处理方案更加合理有效。此外,从本工程的地基处理过程来看,前文介绍的两种处理方案各有优劣,一般电厂项目工程范围较大,厂址的地质情况通常存在较大差异性,厂区内各建构物的安全等级也不尽相同,因此,只有根据具体地质特点并结合结构的功能特性和安全等级,结合使用

方案一和方案二,才能在安全性和经济性上达到平衡,取得最佳的地基处理效果。

### 参考文献:

- [1] 《工程地质手册》编委会. 工程地质手册:第4版[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2007.
- [2] 中华人民共和国建设部. 岩土工程勘察规范:GB 50021—2009[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2009.  
The Ministry of Construction, P. R. C. Code for investigation of geotechnical engineering: GB 50021—2009[S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2009.
- [3] 陈坚宏. 岩溶地区发电厂地基处理方案[J]. 湖北电力, 2012, 36(3): 60-62.  
CHEN J H. Foundation treatment scheme of power plant in karst area[J]. Hubei Electric Power, 2012, 36(3): 60-62.
- [4] 鲍道亮, 罗均宇, 刘冬梅. 覆盖型岩溶区土洞的分布及地基处理方法[J]. 龙岩学院学报, 2011, 29(5): 16-19.  
BAO D L, LUO J Y, LIU D M. Covered karst area distribution of the soil hole and foundation treatment method[J]. Journal of Longyan University, 2011, 29(5): 16-19.
- [5] 彭春雷, 杨晓东, 马栋, 等. 锚固与注浆技术手册:第2版[M]. 北京:中国电力出版社,2010.
- [6] 金瑞玲, 彭跃能, 李献民. 岩溶地基稳定性评价方法[J]. 公路与汽运, 2003, 12(6): 29-31.  
JIN R L, PENG Y N, LI X M. Karst foundation stability evaluation method[J]. Highways & Automotive Applications, 2003, 12(6): 29-31.
- [7] 朱毅. 岩溶地区地基基础的处理实践[J]. 硫磷设计与粉体工程, 2006, 6(5): 46-48.  
ZHU Y. Foundation treatment in karst regions in practice[J]. S P & BMH Related Engineering, 2006, 6(5): 46-48.
- [8] 杨光华, 李思平, 杜秀忠, 等. 岩溶地区高层建筑筏板基础的实践[J]. 岩石力学与工程学报, 2006, 25(2): 3363-3371.  
YANG G H, LI S P, DU X Z, et al. Practice of highrise building with raft foundation in karst region[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2006, 25(2): 3363-3371.
- [9] 向贤礼, 曾祥忠. 岩溶地区路基溶洞顶板的稳定性评价及应用[J]. 西部探矿工程, 2007, 6(6): 164-166.  
XIANG X L, ZENG X Z. Subgrade cave roof stability evaluation and application of karst region[J]. Journal of Western Exploration Engineering, 2007, 6(6): 164-166.
- [10] 龚晓南. 地基处理手册:第3版[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2017.

(责任编辑 李辉)